第38卷 第5期
2021年9月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 38 No. 5
Sep. 2021

新疆额尔齐斯河流域杨树天然林的养分含量分析

宋经纬[1]， 徐子然[1]， 陈家鑫[1]， 徐庆华[1,2]

（1. 国家林业和草原局林产工业规划设计院，北京 100010；
2. 国家林业和草原局森林生态与环境重点实验室，北京 100091）

摘 要： 对新疆额尔齐斯河流域5种主要杨树天然林生物量和器官养分含量分析表明：5种杨树叶片平均N含量为19.36 $g \cdot kg^{-1}$，平均P含量为2.89 $g \cdot kg^{-1}$，叶片N含量接近全球和国内陆地植物水平，叶片P含量较高于全球和国内陆地植物平均水平；叶片平均N:P比值为6.83，相对较低于全球和国内陆地植物叶片N:P比值平均水平；叶片N:P比值高于茎干，茎干高于根系。额尔齐斯河杂交杨的叶片K含量最高，苦杨的茎干K含量最高，银白杨的根系K含量最高。5种杨树天然林生物量分布比，即苦杨:额尔齐斯河杂交杨:银灰杨:欧洲黑杨:银白杨为1:1.03:1.15:1.23:1.37，银白杨的生物量分布最高，苦杨的生物量分布最低。

关键词： 额尔齐斯河流域；杨树天然林；生物量；养分含量；新疆

植物体内养分含量与植物生长需求有关，也与环境中的养分供应状况密切相关；氮（N）、磷（P）和钾（K）是植物的基本营养元素，由于自然界中N和P等营养元素供应往往受限，因此它们的循环及利用限制着生态系统中的大多数过程，无论在植物个体水平还是生态系统水平，植物体内的C、N、P等养分含量都是相互作用的[1-8]；植物体的主要组成元素C、N、P等可以作为资源分配的"货币"，植物不同的器官或组织间的相互作用也是"货币"量的分配结果，从而达到协调植物整体生长发育的平衡过程[9-14]。森林生物量是研究森林生态系统物质循环的基础，是评价土壤生产力和生态系统结构与功能的重要指标，森林生物量和C含量是森林碳估测的重要指标之一[15-16]。

分布于中国西北部的额尔齐斯河流域大面积的杨树天然林是杨柳科植物重要天然基因库，杨树种类多且分布集中，被誉为"中国杨树的基因库"，其保育意义非常重要；近年来，国内许多研究机构为杨柳科树种改良和新种培育等在该地进行了多次种质资源调查和样品采集工作，具有重要的科研和经济价值[17-19]。目前，该流域天然分布的主要杨属（*Populus*）树种有银白杨（*Populus alba*）、银灰杨（*P. canescens*）、欧洲黑杨（*P. nigra*）、苦杨（*P. laurifolia*）和额尔齐斯河杂交杨（*P. jrtyschensis*），其中额尔齐斯河杂交杨是欧洲黑杨和苦杨的自然杂交树种，是一种多代杂种的相对稳定复合体，其天然分布仅限于额尔齐斯河流域及周边河谷地带，是我国特有的森林类型之一[20-21]。本文通过测定和分析天然杨树林的生物量分布和养分状况，对评价额尔齐斯河流域天然杨树林的生态功能作用、优良基因开发利用等方面提供基础的科学数据参考。

1 研究区概况

新疆额尔齐斯河流域的地理位置为85°31′~90°30′E；46°50′~49°10′N，平均海拔400~500 m，相对湿度低，冬季漫长，四季温差大，年均降雨量 <120 mm，年均蒸发量 >1500 mm，年均温4.1 ℃，年最低均温−28.1 ℃，年≥10 ℃积温3000 ℃，年均日照时间2800 h，无霜期120~140 d。

河谷流域分布的杨树天然林一般是由杨柳科多个树种组成的单优或多优混交群落，主要乔木树种包括银白杨（*P.alba*）、银灰杨（*P.canescens*）、欧洲黑杨（*P.nigra*）、苦杨（*P.laurifolia*）、额尔齐斯河杂交

收稿日期： 2021-01-14； **修订日期：** 2021-04-12
基金项目： 国家林业局"十三五"山体生态修复规划项目（LY2015-97-1）
作者简介： 宋经纬（1989-），男，硕士，主要从事生态保护方面研究. E-mail: 385093670@qq.com
通讯作者： 徐庆华. E-mail: 415830017@qq.com

杨(*P. jrtyschensis*)和白柳(*Salix alba*)等;林下分布灌木种类少,主要种类有油柴柳(*Salix caspica*)、毛枝柳(*S. dasyclados*)、灰毛柳(*S. cinerea*)和阿勒泰山楂(*Crataegus altaica*)等,外围灌丛主要有柽柳(*Tamarix* ssp.)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、刺蔷薇(*Rosa acicularis*)和梭梭(*Haloxylon ammodendron*)等。

河谷流域土壤主要以草甸土为主,母质为沙壤或轻壤,每年的春夏季降水和冬季高山冰雪融化都会引发洪水,洪水期一般在5—6月下旬;洪水发生时,河水漫灌河道两侧的大面积低岸滩地,林内土壤水分条件受季节性河水径流的影响较为明显;总体上,河谷两岸土壤水分条件表现为早春和冬季干旱、夏季湿润、秋季干湿状况正常的特点。

2 研究方法

2.1 样品采集方法

标准地设置:在额尔齐斯河流域选择有代表性的布尔津至北屯河段区域,地理位置86°25′~87°48′E;47°21′~47°41′N,此地段植被分布基本上代表整体流域的森林类型,林相较为一致,地形变化不大,比较符合选取试验样地的标准。土壤主要为河滩沙壤土,土壤中的C、N、P养分含量分别平均为(12.86±3.23) $g\cdot kg^{-1}$、(1.64±0.35) $g\cdot kg^{-1}$、(0.37±0.02) $g\cdot kg^{-1}$。于2017年7月实地调查测量区域内5种杨树天然林的平均树龄、平均胸径、平均树高、平均分布密度分别为:银白杨43.3 a、36.2 cm、23.6 m、361株·hm^{-2},银灰杨39.3 a、30.6 cm、20.0 m、477株·hm^{-2},欧洲黑杨40.0 a、36.0 cm、20.4 m、384株·hm^{-2},苦杨44.8 a、37.4 cm、18.1 m、229株·hm^{-2},额尔齐斯河杂交杨39.5 a、37.9 cm、20.5 m、242株·hm^{-2}。

选取5种杨树种组建的有代表性的标准地各6处,分别建立50 m×50 m的标准样地,对30个标准地四周立桩并用测绳界定;2017年7月对试验所有样品进行采集,现场测定相关室外指标数据,同时采集所需的试验材料进行实验室处理、测定室内指标数据。

标准木数据测定:对各个标准地内的杨树植株逐一测量胸径和树高,做好记录。依据各标准地内5种杨树的胸径和树高分布数据,在每个标准地内选择一株具有平均胸径和树高的标准木;标准木要选择样地内部生长正常、无茎干折损有代表性的植株,采用收获法实测30株标准木的全部叶片、茎干和根系生物量。

2.2 叶、茎和根的生物量测定方法

叶片生物量测定方法:标准木伐倒后收集并称取整株树木叶片鲜重,按照树体不同分布高度称取400~500 g鲜重叶片样本5份,实验室烘箱烘干,在70~80 ℃下连续烘干至恒重,用电子天平称重,换算出标准木叶片的干物质生物量。

茎干生物量测定方法:标准木收割后,将茎干在树体分布位置从上到下按照直径大小分成4~5个等级,每个等级分别测定其树干、枝条的鲜重,取各等级样品5份,每份鲜重400~500 g标记,实验室烘干后称取重量,换算出标准木茎干的干物质生物量。

根系生物量测定方法:对各标准木根系全部挖出、拣出洗净,阴晾后用天平称量各个标准木根系鲜重;把各标准木根系根据直径粗度大小分成4~5个等级,各等级根系取样品5份,每份400~500 g称鲜重,实验室烘干后称重,换算出标准木根系的干物质生物量。

根据平均标准木生物量和标准地株数密度计算各树种的单位面积生物量($t\cdot hm^{-2}$)。

2.3 样品养分含量测定方法

对实验室烘箱烘干后的植物样品粉碎、处理,进行C、N、P、K含量测定。各样品C、N、P、K含量试验测定方法分别为:C含量采用重铬酸钾-硫酸氧化还原法,N含量采用奈氏比色法,P含量采用钒钼黄比色法,K含量采用原子吸收法测定。

2.4 数据统计分析

数据结果采用Excel 2003和SPSS 13.0进行方差分析处理。

3 结果与分析

3.1 叶、茎干、根C、N、P、K含量分析

3.1.1 叶片中C、N、P、K含量分析 由表1可知,5种杨树之间叶片C含量存在显著性差异($P<0.05$),银白杨和银灰杨的叶片C含量相对较高,其他杨树叶片C含量相对较低;5种杨树之间叶片K含量存在显著性差异($P<0.05$),额尔齐斯河杂交杨和欧洲黑杨的叶片K元素含量相对较高,其他杨树叶片K含量相对较低;5种杨树之间叶片N含量差异性不显著

表1 不同树种叶片C、N、P、K含量

Tab. 1 Content of C, N, P, K in leaves of different tree species

树种	C/(g·kg^{-1})	N/(g·kg^{-1})	P/(g·kg^{-1})	K/(g·kg^{-1})	叶片N:P
欧洲黑杨(*P. nigra*)	429.60±6.32c	20.01±1.92	2.96±0.57	18.54±0.42ab	6.76
苦杨(*P. laurifolia*)	432.75±10.31bc	16.53±1.06	1.98±0.79	17.65±1.33bc	8.35
额尔齐斯河杂交杨(*P. jrtyschensis*)	421.29±11.20c	20.14±1.75	3.25±0.55	19.83±0.50a	6.19
银白杨(*P. alba*)	466.45±11.43ab	19.76±1.10	3.31±0.53	15.45±0.95c	6.87
银灰杨(*P. canescens*)	469.10±5.12a	20.36±1.83	2.96±0.62	16.41±0.88bc	5.97

注:数值为平均值±标准误,同一列不同字母表示差异显著($P<0.05$),相同字母表示差异不显著($P>0.05$)。下同。

($P>0.05$),5种杨树之间叶片P含量差异性不显著($P>0.05$);5种杨树叶片的C:N:P:K值分别为欧洲黑杨145.14:6.76:1.00:6.26;苦杨218.56:8.35:1.00:8.91;额尔齐斯河杂交杨129.63:6.20:1.00:6.10;银白杨140.92:5.97:1.00:4.67;银灰杨158.48:6.88:1.00:5.54;5种杨树叶片的C:N:P:K平均比值为153.47:6.69:1.00:6.08。叶片N/P比值大小顺序分别为:苦杨8.35、银白杨6.87、欧洲黑杨6.76、额尔齐斯河杂交杨6.19和银灰杨5.97,叶片N/P平均比值为6.83,叶片N/K平均比值为1.10。

3.1.2 茎干C、N、P、K含量分析 由表2可知,5种杨树之间的茎干K含量存在显著性差异($P<0.05$),其他养分含量差异不显著($P>0.05$);5种杨树中,苦杨的茎干C含量和K元素含量最高,而N元素含量最低,P元素含量居中;银白杨的茎干C含量最低,银灰杨的K元素含量最低,额尔齐斯河杂交杨的P元素含量最低。5种杨树茎干的C:N:P:K值分别为欧洲黑杨314.76:4.24:1.00:5.82;苦杨396.93:2.77:1.00:8.37;额尔齐斯河杂交杨485.30:4.56:1.00:9.57;银白杨346.61:3.49:1.00:5.78;银灰杨439.02:3.51:1.00:6.26;5种杨树茎干的C:N:P:K平均比值为387.59:3.71:1.00:7.01。茎干N/P比值大小顺序分别为:额尔齐斯河杂交杨4.56、欧洲黑杨4.24、银灰杨3.51、银白杨3.49和苦杨2.76。

3.1.3 根系C、N、P、K含量分析 由表3可知,5种杨树之间根系K含量存在显著性差异($P<0.05$),其他养分含量差异不显著($P>0.05$);银白杨根系K含量约为7.75 g·kg^{-1},与欧洲黑杨和银灰杨相比,显著性较高;银白杨、苦杨和额尔齐斯河杂交杨的根系K含量差异不显著;银灰杨根系K含量约为2.90 g·kg^{-1},与欧洲黑杨相比差异性不显著,与其他树种差异显著;5种杨树根系的C:N:P:K值分别为欧洲黑杨234.74:1.29:1.00:1.76;苦杨210.36:0.73:1.00:1.99;额尔齐斯河杂交杨359.46:2.20:1.00:3.84;银

表2 不同树种茎干养分C、N、P、K含量

Tab. 2 Contents of C, N, P and K in stems of different tree species

树种	C/(g·kg^{-1})	N/(g·kg^{-1})	P/(g·kg^{-1})	K/(g·kg^{-1})	茎干N:P
欧洲黑杨(*P. nigra*)	465.84±16.07	6.28±0.85	1.48±0.09	8.62±1.18ab	4.24
苦杨(*P. laurifolia*)	480.28±6.95	3.35±0.76	1.21±0.25	10.13±0.92a	2.76
额尔齐斯河杂交杨(*P. jrtyschensis*)	475.59±35.82	4.47±1.45	0.98±0.17	9.38±0.31a	4.56
银白杨(*P. alba*)	450.59±11.85	4.54±0.91	1.30±0.11	7.52±0.51b	3.49
银灰杨(*P. canescens*)	460.97±10.63	3.69±0.78	1.05±0.16	6.57±0.56b	3.51

表3 不同树种根系养分C、N、P、K含量

Tab. 3 Root nutrients C, N, P and K content of different tree species

树种	C/(g·kg^{-1})	N/(g·kg^{-1})	P/(g·kg^{-1})	K/(g·kg^{-1})	根系N:P
欧洲黑杨(*P. nigra*)	511.73±7.82	2.82±0.99	2.18±0.56	3.83±0.55bc	1.29
苦杨(*P. laurifolia*)	515.38±6.05	1.79±0.52	2.45±0.51	4.89±0.60ab	0.76
额尔齐斯河杂交杨(*P. jrtyschensis*)	517.62±11.27	3.17±0.79	1.44±0.22	5.53±0.60ab	2.20
银白杨(*P. alba*)	500.87±13.05	4.41±0.97	3.18±0.69	7.75±1.13a	1.38
银灰杨(*P. canescens*)	488.02±5.52	2.10±0.83	1.22±0.28	2.90±0.32c	1.72

白杨157.51∶1.39∶1.00∶2.44;银灰杨400.02∶1.72∶1.00∶2.38;5种杨树根系的C∶N∶P∶K平均比值为241.99∶1.36∶1.00∶2.38。5种杨树根系N∶P比值大小顺序分别为:额尔齐斯河杂交杨2.20、银灰杨1.72、银白杨1.38、欧洲黑杨1.29和苦杨0.76。

3.2 杨树生物量和养分含量分析

3.2.1 不同树种的标准木生物量分析 如表4所示,5种杨树的标准木平均单株生物量大小顺序是苦杨(604.27±30.85)kg、银白杨(522.74±15.11)kg、额尔齐斯河杂交杨(514.21±13.29)kg、欧洲黑杨约(494.78±21.24)kg和银灰杨(201.36±6.18)kg;不同杨树标准木的根、茎、叶生物量分别占个体生物量的比例为欧洲黑杨15.47%、82.04%、2.48%;苦杨21.00%、77.63%、1.36%;额尔齐斯河杂交杨28.92%、68.61%、2.46%;银白杨6.80%、90.01%、3.18%;银灰杨17.94%、78.53%、3.53%。额尔齐斯河杂交杨的叶片生物量占单株生物量的比例最高,银白杨的叶片生物量占单株生物量的比例最低;银白杨的茎干生物量占单株生物量的比例最高,额尔齐斯河杂交杨的茎干生物量占单株生物量的比例最低;银灰杨的根系生物量占单株生物量的比例最高,苦杨的根系生物量占单株生物量的比例最低。

3.2.2 不同杨树天然林分布生物量分析 由表5可知,5种杨树天然林分布生物量比例为苦杨:额尔齐斯河杂交杨:银灰杨:欧洲黑杨:银白杨是1.00:1.03:1.15:1.23:1.37,苦杨的生物量分布量最低,银白杨的生物量分布量最大;苦杨叶片生物量分布最低,不足银白杨叶片生物量的1/3;额尔齐斯河杂交杨茎干生物量分布最低,约为银白杨的1/2;银白杨的根系生物量分布最低,约为额尔齐斯河杂交杨的1/4。由此可见,银白杨在额尔齐斯河流域的木材蓄积量相对较大,额尔齐斯河杂交杨的根系生物量最高,其保持水土的生态功能相对较强。

3.2.3 不同杨树天然林的养分含量分析 由表6可知,5种杨树天然林中银白杨的C储量最高,其林木碳汇储量较高;苦杨的C储量最低,表明其林木碳汇

表4 不同杨树单株标准木的根系、茎干、叶片的平均生物量

Tab. 4 Average biomass of roots, stems and leaves of individual standard trees /kg

树种	叶片	茎干	根系	总计
欧洲黑杨(*P. nigra*)	12.28±0.52	405.92±17.42	76.57±3.29	494.78±21.24
苦杨(*P. laurifolia*)	8.25±0.41	469.11±23.96	126.90±6.48	604.27±30.85
额尔齐斯河杂交杨(*P. jrtyschensis*)	12.68±0.33	352.83±9.11	148.71±3.84	514.21±13.29
银白杨(*P. alba*)	16.64±0.48	470.54±13.59	35.57±1.02	522.74±15.11
银灰杨(*P. canescens*)	7.11±0.21	158.12±4.86	36.12±1.10	201.36±6.18

表5 单位面积的杨树活立木的平均生物量分布

Tab. 5 Average biomass distribution of live poplar standing trees per unit area /(t·hm^{-2})

树种	叶片	茎干	根系	总计
欧洲黑杨(*P. nigra*)	5.46±0.23	118.32±5.07	40.09±1.71	163.77±7.14
苦杨(*P. laurifolia*)	1.88±0.09	107.06±5.46	24.18±1.23	133.13±6.79
额尔齐斯河杂交杨(*P. jrtyschensis*)	3.09±0.09	86.18±2.22	48.20±1.25	137.48±3.56
银白杨(*P. alba*)	5.81±0.16	164.38±4.75	12.06±0.35	182.25±5.26
银灰杨(*P. canescens*)	5.17±0.17	115.03±3.53	32.58±1.00	152.80±4.71

表6 不同杨树天然林活立木平均养分含量分布

Tab. 6 Distribution of average nutrient reserves of standing trees in different poplar forests /(t·hm^{-2})

树种	C	N	P	K
欧洲黑杨(*P. nigra*)	77.98±3.34	0.97±0.04	0.28±0.01	1.27±0.05
苦杨(*P. laurifolia*)	64.69±3.30	0.43±0.02	0.19±0.01	1.24±0.06
额尔齐斯河杂交杨(*P. jrtyschensis*)	67.24±1.74	0.60±0.02	0.16±0.00	1.14±0.03
银白杨(*P. alba*)	82.82±2.39	0.91±0.03	0.27±0.01	1.42±0.04
银灰杨(*P. canescens*)	71.35±2.19	0.60±0.02	0.18±0.01	0.94±0.03

储量相对较低;欧洲黑杨和银白杨的N元素储量相对较高,苦杨的N元素储量最低;欧洲黑杨和银白杨的P元素储量相对较高,额尔齐斯河杂交杨的P元素储量最低;银白杨的K元素储量最高,银灰杨的K元素储量最低。

4 讨 论

额尔齐斯河流域5种杨树叶片平均N含量为19.36 g·kg^{-1},平均P含量为2.89 g·kg^{-1};杨树叶片平均N含量接近全球(叶片平均N含量为20.1 g·kg^{-1})和国内陆地植物水平(20.2 g·kg^{-1}),叶片平均P含量较高于全球(叶片平均P含量为1.8 g·kg^{-1})和国内陆地植物平均水平(1.46 g·kg^{-1})[22-25]。K是植物体内含量最大的阳离子,K含量大小影响着植物生长对不良环境的抗逆性和免疫力;一般情况下,茎干K含量的大小影响植物体抗风折倒伏的能力,根系K含量的大小影响根系对土壤水分吸收的能力,叶片K含量大小影响着叶片的光合作用和呼吸作用等重要作用过程[26]。在本文5种杨树中,额尔齐斯河杂交杨叶片K含量最高,银白杨叶片K含量最低,说明额尔齐斯河杂交杨的叶片K含量具有一定的杂交优势;苦杨茎干K含量最高,银灰杨茎干K含量最低,K能够促进茎干木质化和硅质化作用,提高植物体抗风折倒伏的能力;银白根系K含量最高,银灰杨根系K含量最低,较高的K含量产生较大的渗透压能够提高根系对土壤水分的吸收。根据相关研究报告,叶片N:P<10属于植物生长N元素限制类型,叶片N:P>20属于植物生长P元素限制类型[27-29];5种杨树叶片N:P比值在5.97~8.35之间,相对低于全球和国内陆地植物叶片N:P比值平均水平(全球和国内陆地植物叶片N:P比值平均水平分别为11.17和13.83)。研究发现,植物生长干旱条件下能够显著增加叶片N含量,提高叶片N:P比值水平[14-15];5种杨树天然林叶片平均N含量较为接近全球和国内陆地植物水平,叶片N:P比值较平均水平低;在自然条件下,河谷流域土壤水分基本上能够满足杨树天然林的正常生长,冬季和早春干旱对杨树的正常生长影响较小。因此,要加强额尔齐斯河流域天然林生态保护,减少人为破坏活动带来的干旱等环境条件恶化现象。

本文5种杨树天然林平均C含量分布为72.81 t·hm^{-2},较高于全国森林平均C含量水平(35~39 t·hm^{-2})[30-34],本区域的杨树天然林具有丰富的碳储量和碳汇资源。额尔齐斯河流域是我国杨树天然林现存分布最多的地区之一,分布面积大、种质资源丰富,对当地的生态环境和区域气候变化等方面影响显著。因此,做好额尔齐斯河流域杨树天然林保护和研究工作对于我国生态文明建设和未来资源保护利用等各个方面意义重大。

5 结 论

通过研究表明,额尔齐斯河流域分布5种杨树天然林的碳汇储量大小顺序为:银白杨>欧洲黑杨>银灰杨>额尔齐斯河杂交杨>苦杨,银白杨的林木碳汇储量最大,苦杨的林木碳汇储量最低;流域杨树天然林的平均碳储量较高于全国森林平均碳储量水平,这对保护区域生态环境和我国应对全球气候变化、实现温室气体碳中和、碳达峰具有重要的参考意义。额尔齐斯河流域5种杨树叶片平均N含量接近全球和国内陆地植物平均水平,叶片平均P含量较高于全球和国内陆地植物平均水平。5种杨树叶片平均N:P<10,N:P比值在5.97~8.35之间,相对低于全球和国内陆地植物叶片N:P平均水平,说明流域杨树的生长属于N元素限制类型,即土壤增施N肥能够较明显的促进杨树生长;5种杨树的叶片N:P平均比值较低,表明额尔齐斯河流域杨树天然林生长未受到明显的干旱胁迫或抑制现象。

参考文献(References):

[1] 赵文洁, 李凤日, 庄宸, 等. 大兴安岭地区落叶松林碳密度空间分布[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(6): 1−5. [Zhao Wenjie, Li Fengri, Zhuang Chen, et al. Spatial distribution of carbon density for larch forest in Daxing'an Mountain[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2014, 42(6): 1−5.]

[2] 茶枝义. 云南省针叶林碳储量及固碳潜力分析[J]. 西部林业科学, 2019, 48(4): 7−12. [Cha Zhiyi. Carbon storage and sequestration potential of coniferous forest in Yunnan Province[J]. Western Forestry Science, 2019, 48(4): 7−12.]

[3] 李奇, 朱建华, 范立红, 等. 西南地区乔木林碳储量及木材生产潜力预测[J]. 生态环境学报, 2018, 27(3): 416−423. [Li Qi, Zhu Jianhua, Fan Lihong, et al. Prediction of forest carbon storage and timber yield potential in Southwestern China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, 27(3): 416−423.]

[4] 李发奎, 李金霞, 孙小妹, 等. 黑果枸杞茎叶生长及其生态化学

计量特征对灌水施肥的响应[J]. 干旱区研究, 2020, 37(2): 452–461. [Li Fakui, Li Jinxia, Sun Xiaomei, et al. Effects of irrigation and fertilization on the stem and leaf growth and ecostoichiometric characteristics of *Lycium ruthenicum* Murr. [J]. Arid Zone Research, 2020, 37(2): 452–461.]

[5] 邓博文, 许瑶瑶, 陈逸飞, 等. 中国针叶林优势树种叶片氮磷钾生态化学计量特征及内稳态分析[J]. 林业科学研究, 2020, 33(6): 81–87. [Deng Bowen, Xu Yaoyao, Chen Yifei, et al. Stoichiometry and homesotasis of nitrogen, phosphorus and potassium in leaf of dominant tree species in China's coniferous forests[J]. Forestry Research, 2020, 33(6): 81–87.]

[6] Dai Wei, Fu Weijun, Jiang Peikun, et al. Spatial pattern of carbon stocks in forest ecosystems of a typical subtropical region of southeastern China[J]. Forest Ecology and Management, 2018, 409: 288–297.

[7] 覃国明, 尹光天, 杨锦昌, 等. 米老排(*Mytilaria laosensis*)叶C、N、P化学计量比的季节动态与异速生长关系[J]. 分子植物育种, 2020, 18(2): 594–601. [Qin Guoming, Yi Guangtian, Yang Jinchang, et al. Seasonal dynamics of leaf C, N and P stoichiometric rations of *Mytilaria laosensis* and allometric relationship[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(2): 594–601.]

[8] Gusewell S. N: P ratios in terrestrial plants: Variation and functional significance [J]. New Phytologist, 2004, 164: 243–266.

[9] 何茂松, 罗艳, 彭庆文, 等. 新疆67种荒漠植物叶碳氮磷计量特征及其与气候的关系[J]. 应用生态学报, 2019, 30(7): 2171–2180. [He Maosong, Luo Yan, Peng Qingwen, et al. Leaf C: N: P stoichiometry of 67 plant species and its relations with climate factors across the deserts in Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(7): 2171–2180.]

[10] 贺金生, 韩兴国. 生态化学计量学: 探索从个体到生态系统的统一化理论[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 2–6. [He Jinsheng, Han Xingguo. Ecological stoichiometry: Searching for unifying principles from individuals to ecosystems[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 2–6.]

[11] 王飞, 郭树江, 韩富贵, 等. 民勤荒漠植物叶片水分吸收性状研究[J]. 干旱区研究, 2020, 37(5): 1256–1263. [Wang Fei, Guo Shujiang, Hsn Fugui, et al. Study on the leaf water absorption characteristics of Minqin Desert plants[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(5): 1256–1263.]

[12] 符义稳, 田大栓, 牛书丽, 等. 氮磷添加和干旱对高寒草甸优势植物叶片化学计量的影响[J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(5): 115–123. [Fu Yiwen, Tian Dashuan, Niu Shuli, et al. Effects of nitrogen, phosphorus addition and drought on leaf stoichiometry in dominant species of alpine meadow[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2020, 42(5): 115–123.]

[13] 林婷婷. 干旱胁迫对榆树幼苗生长及生态化学计量的影响[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2019. [Lin Tingting. The Effect of Drought Stress on the Growth and Ecological Stoichiometry of Elm Seedlings[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2019.]

[14] 洪文君, 何书奋, 曾德华, 等. 无翼坡垒植物与土壤营养元素及化学计量学特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(11): 98–103. [Hong Wenjun, He Shufen, Zeng Dehua, et al. Nutrient elements and stoichiometry of plants and soils of *Hopea exalata*[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2019, 39(11): 98–103.]

[15] 毛宏蕊, 金光泽. 氮添加对典型阔叶红松林净初级生产力的影响[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(8): 42–49. [Mao Hongrui, Jin Guangze. Impacts of nitrogen addition on net primary productivity in the typical mixed broadleaved-Korean pine forest[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2017, 39(8): 42–49.]

[16] Yan Zhengbing, Li Xiuping, Tian Di, et al. Nutrient addition affects scaling relationship of leaf nitrogen to phosphorus in Arabidopsis thaliana[J]. Functional Ecology, 2018, 32(12): 2689–2698.

[17] 吴晓成. 新疆额尔齐斯河天然杨柳林生产力与碳密度的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009. [Wu Xiaocheng. Study on the Productivity and Carbon Density of Natural Poplar and Willow Forests in the Irtysh River in Xinjiang[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009.]

[18] 成克武, 臧润国, 周晓芳, 等. 洪水对额尔齐斯河河岸天然林植被的影响研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(2): 46–51. [Cheng Kewu, Zang Runguo, Zhou Xiaofang, et al. Study on the impact of floods on the natural forest vegetation along the Irtysh River[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2006, 28(2): 46–51.]

[19] 臧润国, 成克武, 李俊清, 等. 天然林生物多样性保育与恢复[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005. [Zang Runguo, Cheng Kewu, Li Junqing, et al. Natural Forest Biodiversity Conservation and Restoration[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2005.]

[20] 滕清林, 张金海, 高志飞, 等. 基于第九次全国森林资源清查的新疆森林资源管理的实践与思考[J]. 新疆林业, 2020, 64(3): 8–10. [Teng Qinglin, Zhang Jinhai, Gao Zhifei, et al. Practice and thinking of Xinjiang forest resources management based on the ninth national forest resources inventory[J]. Forestry of Xinjiang, 2020, 64(3): 8–10.]

[21] 彭岩, 田雪邻, 张新平, 等. 基于森林连续清查数据的新疆森林质量评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(5): 96–102. [Peng Yan, Tian Xuelin, Zhang Xinping, et al. Preliminary estimation of forest quality in Xinjiang based on continuous forest resource data[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2019, 43(5): 96–102.]

[22] Han W X, Fang J Y, Guo D L, at el. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China[J]. New Phytologist, 2005, 168: 377–385.

[23] Elser J J, Fagan W F, Denno R F, et al. Nutritional constraints in terrestria1 and freshwater food webs[J]. Nature, 2000, 408: 578–580.

[24] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant learn and P in rela-

tion to temperature and latitude[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101: 11001–11006.

[25] 刘小菊, 单奇, 李园园. 喀纳斯泰加林林下72种植物叶片的碳、氮、磷化学计量特征[J]. 生态环境学报, 2020, 29(7): 1302–1309. [Liu Xiaoju, Shan Qi, Li Yuanyuan. Leaf carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in 72 understory plants species in Kanas Taiga[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2020, 29(7): 1302–1309.]

[26] 苍晶, 李唯. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2017. [Cang Jing, Li Wei. Plant Physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2017.]

[27] Liu Weichao, Fu Shuyue, Yan Shengji, et al. Responses of plant community to the linkages in plant-soil C:N:P stoichiometry during secondary succession of abandoned farmlands, China[J]. Journal of Arid Land, 2020, 12(2): 215–226.

[28] 徐新良, 曹明奎, 李克让. 中国森林生态系统植被碳储量时空动态变化研究[J]. 地理科学进展, 2007, 26(6): 1–9. [Xu Xinliang, Cao Mingkui, Li Kerang. Temporal-spatial dynamics of carbon storage of forest vegetation in China[J]. Progress in Geography, 2007, 26(6): 1–9.]

[29] Wright I J, Groom P K, Lamont B B, et a1. Leaf traits relationships in Austra1ian plant species[J]. Functional Plant Biology, 2004, 31: 551–558.

[30] 国家林业和草原局. 中国林业和草原统计年鉴2018[M]. 北京: 中国林业出版社, 2019. [State Forestry and Grassland Administration. China Forestry and Grassland Statistical Yearbook 2018 [M]. Beijing: China Forestry Press, 2019.]

[31] 李奇, 朱建华, 冯源, 等. 中国森林乔木林碳储量及其固碳潜力预测[J]. 气候变化进展, 2018, 14(3): 287–294. [Li Qi, Zhu Jianhua, Feng Yuan, at el. Carbon storage and carbon sequestration potential of the forest in China[J]. Climate Change Research, 2018, 14(3): 287–294.]

[32] 邱梓轩. 中国陆表森林植被碳汇测计方法与应用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2019. [Qiu Zixuan. Study on the Method and Application of Carbon Sink Measurement of China's Land Surface Forest Vegetation[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2019.]

[33] 张婷婷, 刘文耀, 黄俊彪, 等. 植物生态化学计量内稳性特征[J]. 广西植物, 2019, 39(5): 701–712. [Zhang Tingting, Liu Wenyao, Huang Junbiao, at el. Characteristics of plant ecological stoichiometry homeostasis[J]. Guihaia, 2019, 39(5): 701–712.]

[34] 彭淑娴, 陈登鹏, 王嘉伟, 等. 全球变化背景下磷生物地球化学循环研究进展[J]. 环境生态学, 2020, 2(12): 1–7, 22. [Peng Shuxian, Chen Dengpeng, Wang Jiawei, at el. Progress in phosphorus biogeochemical cycle under global changes[J]. Environmental Ecology, 2020, 2(12): 1–7, 22.]

Nutrient content of five natural poplar forests in the Irtysh River Basin in Xinjiang

SONG Jingwei[1], XU Ziran[1], CHEN Jiaxin[1], XU Qinghua[1,2]

(1. Planning and Design Institute of Forest Products Industry of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100010, China; 2. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: Our analysis of the biomass and organ nutrient content of five main Populus natural forests in the Irtysh River Basin in Xinjiang reveals that the average N content of the leaves in the five poplar species is 19.36 $g\cdot kg^{-1}$ and the average P content is 2.89 $g\cdot kg^{-1}$. The N content of the leaves is close to the levels found in land plants both globally and domestically, whereas the P content of the leaves is higher than the average levels found in global and domestic land plants. The average leaf N/P ratio is 6.83, which is relatively lower than the average levels seen in both global and domestic land plants; the ratio of leaf N/P is higher than that of the stem; and the ratio of stem N/P stem is higher than that of the root. The leaf K content of *P. jrtyschensis* is the highest, the stem K content of *P. laurifolia* is the highest, and the K content in the root system of *P. alba* is the highest. The biomass distribution ratio of the five natural forests—*P. laurifolia*, *P. jrtyschensis*, *P. canescens*, *P. nigra*, and *P. alba*—1:1.03:1.15:1.23:1.37. The *P. alba* forest has the highest biomass distribution, and the *P. laurifolia* forest has the lowest biomass distribution.

Keywords: Irtysh River Basin; natural forest of *Populus*; biomass; nutrient content; Xinjiang